

25. Okt. 2000



REC'D 06 NOV 2000	
WIPO	PCT

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 199 47 394.3

**Anmeldetag:** 01. Oktober 1999

**Anmelder/Inhaber:** DYNatechnik Meßsysteme GmbH,  
Hamburg/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zum Messen von  
Schüttgutströmen

**IPC:** G 01 F, G 01 P, G 01 G

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Oktober 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

*[Handwritten signature]*



Bezold & Sozien

Patentanwälte

v. Bezold & Sozien · Akademiestr. 7 · D-80799 München

Dieter v. Bezold

Dr. rer. nat.

Peter Schütz

Dipl.-Ing.

Wolfgang Heusler

Dipl.-Ing.

Oliver Hertz

Dr. rer. nat., Dipl.-Phys.

Jürgen Wilhelm

Dipl.-Phys.

Patentanwälte

European Patent and

Trademark Attorneys

Akademiestr. 7

D-80799 München

Tel.: +49-89-38 999 80

Fax: +49-89-38 999 850

eMail: info@sombez.com

15023 Hz/Vu

Temperaturmesssysteme GmbH

Tempowerkring 5

D-21079 Hamburg

## Verfahren und Vorrichtung zum Messen von Schüttgutströmen

### Zusammenfassung

Zum Erfassen der Durchflußmenge fließfähigen Schüttguts (1) durch eine Transportleitung (2), wobei eine Geschwindigkeitsmessung und eine gravimetrische Massemessung mit einer Wägerschleife (3) vorgesehen sind, erfolgt die Geschwindigkeitsmessung simultan zur Massemessung für jeweils auf der Wägerschleife befindliches Schüttgut unter Verwendung mindestens eines Influenzelektrodenpaares (21,22), und es wird die Durchflußmenge kalibrationsfrei direkt aus der Geschwindigkeit und der Masse des auf der Wägerschleife (3) fließenden Schüttguts (1) ermittelt (Fig. 1).

Verfahren und Vorrichtung zum Messen von Schüttgutströmen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen von Schüttgutströmen durch simultane Geschwindigkeits- und Massenmessungen. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum kontinuierlichen Erfassen der Durchflußmenge von fließfähigem Schüttgut, wie z.B. von Granulaten oder pulverförmigen Feststoffen, beim Schüttguttransport, wie z.B. ein Verfahren zur Erfassung der Austragsmenge an Gut aus einem Vorratsbehälter oder der Beladung eines Schüttguttransporters. Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Durchführung dieser Verfahren.

Es ist bekannt, Schüttgutströme unter Verwendung von Prallplatten oder Meßschurren zu erfassen (siehe z.B. DE-OS 29 50 925). Das zu messende Gut stößt ~~gegen~~ eine schräg zur Fallrichtung des Gutes orientierte Platte. Der Massendurchsatz ergibt sich aus der Multiplikation der an der Prallplatte gemessenen Kraft mit einem Kalibrierungsfaktor. Diese Verfahrensweise ist wegen der relativ großen Meßungenauigkeiten und wegen der erforderlichen Kalibrierung nachteilig. Die Meßungenauigkeiten ergeben sich insbesondere bei Schwankungen der Schüttgutcharakteristika, beispielsweise in Bezug auf die Korngrößen, -formen, -gewichte und -härten, des Aufprallverhaltens u.s.w.

Zur Vermeidung dieser Meßungenauigkeiten wird in EP 0 372 037 eine Technik beschrieben, bei der das Gut über eine schräge Rutsche und von dieser auf ein Prall- oder Laufrad geführt wird. Die Rutsche ist mit einem Belastungsumformer zur Erfassung der Schüttgutmasse pro Rutschenlänge ausgestattet. Die Schüttgutgeschwindigkeit (Weg pro Zeit) wird mit dem Prallrad am Ende der Rutsche gemessen, das

sich unter der Wirkung des bewegten Gutes dreht. Die Verwendung des Prallrades ist nachteilig, da dieses ein mechanisch bewegtes Element darstellt, das zusätzliche Wartungsarbeiten erfordert. Außerdem können Anbackungen des Gutes am Rad zu falschen Meßresultaten führen. Bei der Meßwertauswertung wird von einer konstanten Geschwindigkeit auf der Rutsche ausgegangen, die nur am Ende der Rutsche gemessen wird. Dabei wird jedoch nicht berücksichtigt, daß auf der Rutsche eine Geschwindigkeitsänderung durch die Beschleunigung des Gutes auf der Rutsche erfolgt. Dieses Problem könnte wiederum nur durch eine zusätzliche Kalibrierung kompensiert werden.

Aus DE PS 44 06 046 ist ein Verfahren zum Messen eines Pulver-Massestromes ohne den Einsatz mechanisch bewegter Elemente bekannt. Dabei wird ein Pulver-Gas-Gemisch durch eine Förderleitung mit einer Geschwindigkeitsmeßvorrichtung und einer Massenmeßvorrichtung geleitet. Die Geschwindigkeitsmeßvorrichtung basiert auf dem Influenzverfahren, das an sich aus den Publikationen von J. B. Gajewski et al. in „Material Science“, Bd. 16, S. 113 ff. und in „Electrostatics 1991“ (Hrsg. B. C. O'Neill, Inst. Phys. Press, Bristol, S. 159 ff.) und von J. V. Candy in „Signal Processing“. A model approach“ (McGraw Hill, New York, 1988) bekannt ist. Die Pulverteilchen erfahren bei ihrer Bewegung durch die Förderleitung eine elektrische Aufladung. An der Förderleitung sind mit Abstand zueinander zwei Ringelektroden angebracht, in denen durch die in der Förderleitung bewegten geladenen Pulverteilchen Spiegelladungen induziert werden, die als elektrisches Meßsignal erfaßbar sind. Durch Auswertung von Korrelationen zwischen den Meßsignalen der Ringelektroden kann auf die Geschwindigkeit der Pulverteilchen rückgeschlossen werden.

Die in DE PS 44 06 046 eingesetzte Massenmeßvorrichtung ist zum Messen der Pulvermasse pro Volumeneinheit in einem Abschnitt der Förderleitung ausgelegt und basiert auf einer Substanzmengenmessung mit einem Mikrowellenresonator.

Ein erster Nachteil dieser Technik besteht darin, daß die Massenmeßvorrichtung nur eine relative Massenbestimmung ermöglicht. Zur Erfassung des Pulver-Massestromes müssen die gemessene Geschwindigkeit, die gemessene Pulvermasse pro Volumeneinheit und die Abmessungen der Förderleitung unter Berücksichtigung einer zusätzlichen Kalibrierung verrechnet werden. Die Massenbestimmung unter Verwendung von Mikrowellen zur Erfassung des Massestromes kann nicht am selben Abschnitt der Förderleitung wie die Geschwindigkeitsmessung erfolgen, da letztere durch den Betrieb des Mikrowellenresonators gestört werden würde. Außerdem ist die Messung mit Mikrowellen extrem von äußeren Randbedingungen abhängig, wie z.B. von der Feuchte des Pulvers. Dies macht eine zusätzliche Prozeßüberwachung und laufende Nachkalibrierung erforderlich.

Generell stellt die Notwendigkeit von Kalibrierungsmessungen bei allen herkömmlichen Techniken einen entscheidenden Nachteil dar, da die Erfassung von Schüttgutströmen in der Praxis möglichst universell und unabhängig von gesonderten Messungen der Schüttgutparameter, wie z.B. Korngrößen, -formen oder -gewichten erfolgen soll.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zum Messen von Schüttgutströmen, insbesondere zum Messen des Massedurchsatzes von fließendem Material, bereitzustellen, mit dem die Nachteile der herkömmlichen Techniken vermieden wird und das insbesondere kalibrationsfrei durchgeführt werden kann. Mit dem Verfahren soll auch eine hohe Meßgenauigkeit und eine Reduzierung des Wartungsaufwandes

erreicht werden. Die Aufgabe der Erfindung ist es auch, eine verbesserte Meßeinrichtung für Schüttgutströme, insbesondere eine verbesserte Durchflußwaage für Schüttgutströme anzugeben.

Diese Aufgaben werden durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 7 oder 15 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die Grundidee der Erfindung besteht darin, an fließfähigem Schüttgut Massen- und Massespeedmessungen gleichzeitig an einer bestimmten Schüttgutmenge durchzuführen. Hierzu wird in eine Transportleitung für fließfähiges Schüttgut eine Wägerutsche integriert, die zur gravimetrischen Massebestimmung am jeweiligen auf der Wägerutsche fließenden Schüttgut ausgelegt ist. An der Wägerutsche oder in der Transportleitung ist ferner mindestens ein Paar von Influenzelektroden einer Geschwindigkeitsmeßvorrichtung angebracht, in denen durch das fließende Schüttgut meßbare Ströme von Influenzladungen erzeugt werden. Aus den zeitlichen Signalverläufen der Ströme wird unter Verwendung eines Korrelationsverfahrens die Geschwindigkeit des Schüttguts ermittelt.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, eine gattungsgemäße Vorrichtung zur Messung der Durchflußmenge an Schüttgütern, wie sie beispielsweise in EP 372 037 beschrieben ist, so weiter zu entwickeln, daß die Geschwindigkeitsmessung am auf der Wägerutsche befindlichen Material erfolgt. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt entweder direkt an der Schüttgutmenge auf der Wägerutsche oder indirekt an Schüttgutmengen mit Abstand von der Wägerutsche unter Berücksich-

tigung eines Geschwindigkeitsprofils in der Transportleitung.

Gegenstand der Erfindung ist auch eine Wägerutsche, die simultan zur Masse- und Geschwindigkeitsmessung an über die Wägerutsche fließendem Material ausgelegt ist. Mit der Wägerutsche wird die Masse des auf der Länge der Wägerutsche befindlichen Schüttguts direkt und absolut in Kilogramm je Meter gemessen. Simultan ergibt die Geschwindigkeitsmessung die Schüttgutgeschwindigkeit in Metern je Sekunde. Durch Produktbildung kann unmittelbar die Durchflußmenge als durchfließende Masse pro Zeiteinheit, z.B. in Kilogramm je Sekunde, bestimmt werden.

Die Erfindung besitzt die folgenden Vorteile. Die Erfindung liefert eine Durchflußmengenmessung, die im Unterschied zu allen früheren Techniken kalibrationsfrei aus absoluten Geschwindigkeits- und Massemessungen abgeleitet wird. Die Ermittlung beider Parameter (Geschwindigkeit, Schüttgutmasse) erfolgt gleichzeitig für identisches Schüttgutmaterial. Dies ist ein besonders überraschendes und vorteilhaftes Ergebnis, da man vor der Erfindung davon ausgegangen war, daß die beiden Parameter die Implementierung derart verschiedenartiger Meßprinzipien erfordern, das eine gleichzeitige Messung für einen bestimmten Abschnitt der Transportleitung ausgeschlossen ist. Bei der Entwicklung der erfindungsgemäßen Meßtechnik gelangten die Erfinder zu dem unerwarteten Ergebnis, daß die Influenzmethode zur Geschwindigkeitsmessung ausreichend empfindlich für die Messung an fließfähigem Schüttgütern und ausreichend robust für praktische Anwendungen ist. Es wurde insbesondere festgestellt, daß auch bei Schüttgütern mit relativ großen Teilchengrößen im mm-Bereich die Teilchen z.B. durch Reibung, Stoß oder Bruch elektrostatisch aufgeladen werden und daß sich auch bei relativ geringen Schüttgutgeschwindigkeiten (z.B. im Bereich

ab 0.5 m/s) ausreichend genau meßbare Ströme in den Influenzelektroden ausbilden.

Die erfindungsgemäße Meßtechnik erlaubt auch die genaue Durchflußmengenmessung an unregelmäßig fließendem Schüttgut oder sogar an Schüttgutströmen mit zeitweiligen Unterbrechungen. Die erfindungsgemäße Meßeinrichtung ist äußerst robust gegen Störungen. Bewegte Komponenten, wie z.B. Prall- oder Laufräder, werden vermieden. Die Masse- und Geschwindigkeitsmessungen beeinflussen sich nicht gegenseitig. Mit der Erfindung wird eine Durchflußwaage mit einer neuen und erweiterten Brauchbarkeit geschaffen. Die Wägerutsche mit integrierter Masse- und Geschwindigkeitsmessung kann in eine Transportleitung beliebiger Gestalt eingebaut werden. Die Wägerutsche bildet selbst ein Stück Förderstrecke mit einer Form und Neigung, die zu denen der angrenzenden Abschnitte der Transportleitung identisch sind.

Mit der erfindungsgemäßen Meßtechnik läßt sich die Durchflußmenge mit einer Relativgenauigkeit von 1% und besser ermitteln. Durch den Einsatz einer digitalen Auswertungs-elektronik kann das System in Förderpausen einen Nullabgleich durchführen, um beispielsweise eine Drift der Massenmeßvorrichtung zu kompensieren.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden aus den im folgenden unter Bezug auf die Zeichnungen beschriebenen Ausführungsbeispielen ersichtlich. Es zeigen:

Figur 1: eine schematische Übersichtsdarstellung der mechanischen Teile einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Durchflußmengenmessung,

Figur 2: eine Illustration der Signalaufnahme bei einem erfindungsgemäßen Verfahren,



Figur 3: Kurvendarstellungen zur Illustration der Ströme von Influenzladungen und deren Korrelation,

Figur 4: Illustrationen zur Position von Influenzelektroden einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Durchflußmengenmessung,

Figur 5: Illustrationen zur Kombination einer erfindungsgemäßen Wägerutsche mit einer Transportleitung, und

Figur 6: Illustrationen zur Darstellung der Stromstreckengangschnitte.

Figur 1 illustriert die Anordnung einer erfindungsgemäßen Einrichtung 100 zum Erfassen der Durchflußmenge fließfähigen Schüttguts 1 am Ende einer Transportleitung 2. Die Einrichtung 100 umfaßt im einzelnen eine Massenmeßvorrichtung 10 mit einer gravimetrischen Wägerutsche 3, eine Geschwindigkeitsmeßvorrichtung 20 mit einem Influenzelektrodenpaar 21 und eine Auswertungsvorrichtung 30, die im einzelnen einen Signalkorrelator, einen Wägeverstärker und eine Rechenvorrichtung zur Ermittlung der Durchflußmenge enthält. Komponenten oder auch die gesamte Elektronik können aber auch in einem separaten Gehäuse untergebracht sein. Die Einrichtung 100 ist in bzw. an einem durchbrochen gezeichneten Gehäuse 4 angebracht, das anwendungsabhängig ortsfest auf einem Untergrund oder vorzugsweise wie dargestellt am Ende der Transportleitung 2 befestigt ist. Die Wägerutsche 3 ist so gestaltet und im Gehäuse 4 angebracht, daß sie im wesentlichen eine gleichförmige Verlängerung der Förderstrecke der Transportleitung 2 bildet. An der oberen Seite der Wägerutsche 3 ist ein Balken 13 befestigt. Die Wägerutsche 3 ist vorzugsweise aus Segmenten aufgebaut, die mit

dem Balken 13 zusammengehalten werden. Die Wägezelle 11 ist an einem Ende mit dem Balken 13 und am anderen Ende mit dem Gehäuse 4 fest verbunden. Sie enthält als Massesensor einen Dehnungsmeßstreifen 12, der in Abhängigkeit von der Masse in der Wägerutsche 3 und damit deren Verbiegung in Pfeilrichtung ein vorbestimmtes Sensorsignal an die Auswertungsvorrichtung 30 liefert. Anstelle des Dehnungsmeßstreifens 12 können alternativ auch andere Massesensoren, z.B. unter Verwendung eines mechanischen Federelements oder des Prinzips der schwingenden Saite oder des Prinzips der magnetischen Kraftkompensation, eingesetzt werden.

zwei voneinander beabstandeten Elektrodenringen 21a, 21b. Die Elektrodenringe 21a, 21b sind in die Wand der Wägerutsche 3 integriert, auf dieser außen fixiert oder auch in einer äußeren Hülse untergebracht, die auf der Außenseite der Wägerutsche 3 beweglich ist. Die Ringelektroden 21a, 21b sind streifenförmige, die Wägerutsche 3 vollständig umgebende metallische Ringe, die beispielsweise aus Kupfer bestehen und eine Dicke von 30  $\mu\text{m}$  bis in den mm-Bereich bzw. eine Breite von rd. 2 cm besitzen. Es können auch mehrere Influenzelektrodenpaare 21 vorgesehen sein, wie dies unten erläutert ist. Die Influenzelektroden müssen nicht zwingend ringförmig die Wägerutsche 3 umgeben. Es sind auch andere, flächige oder streifenförmige Elektrodenformen realisierbar, sofern sie für eine ausreichende Bildung von Ladungssignalen zur Geschwindigkeitsmessung geeignet sind.

Das Schüttgut 1 kann aus beliebigem partikelförmigem, anorganischen oder organischen Material bestehen. Es kann beispielsweise Mineralstoffe oder Kunststoffe mit beliebigen Teilchenformen (Kugelformen, Bruchstücke, Stäbchenformen u. dgl.) umfassen. Typische Teilchengrößen liegen im Bereich oberhalb von 1  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise rund 1 mm bis 5 mm. Die

Teilchengrößen können auch im cm-Bereich und weit darüberhinaus liegen.

Das Schüttgut 1 bewegt sich unter der Wirkung der Gravitation in der Transportleitung 2 bzw. der Wägerutsche 3 auf dem jeweiligen Boden der Förderstrecke. Hierzu sind die Transportleitung 2 und die Wägerutsche 3 gegenüber der Horizontalen geneigt. Die Neigung oder Steilheit wird anwendungsabhängig, insbesondere in Abhängigkeit von der Fließfähigkeit des Schüttguts, gewählt und liegt beispielsweise im Bereich von  $30^\circ$  bis  $45^\circ$ . Der Transport des Schüttguts 1 erfolgt tränergasfrei rutschend auf dem Boden der Förderstrecke.

Das Prinzip der Signalaufnahme mit der erfindungsgemäßen Einrichtung 100 wird im folgenden unter Bezug auf die Figuren 2 und 3 erläutert. Figur 2 zeigt schematisch die erfindungsgemäße Wägerutsche 3 mit zwei Elektrodenringen 21a, 21b. Das Schüttgut rutscht in Pfeilrichtung auf den Boden der Wägerutsche 3. Die Geschwindigkeit des Schüttgutstromes wird wie folgt ermittelt.

Der Schüttgutstrom besteht aus Feststoffpartikeln, die sich bei ihrer Bewegung elektrostatisch aufladen. Die elektrostatische Aufladung wird beispielsweise durch Reibung zwischen den Partikeln, Reibung zwischen Partikeln und der Wand der Transportleitung oder durch Bruch oder Stoß verursacht. Die elektrisch geladenen Partikel erzeugen (influenzieren) beim Durchtritt durch einen Metallring oder allgemein bei jeder Bewegung relativ zu einem elektrischen Leiter in diesem eine Spiegelladung. Die Summe der Spiegelladungen liefert ein Ladungssignal, das gegenüber Masse als Stromsignal meßbar ist. Aufgrund von statistischen Schwankungen im Schüttgutstrom ergibt sich im Zeitverlauf ein Stromsignal mit einem statistischen Rauschen. Erfolgt ein

Vorbeitritt der elektrisch geladenen Partikel an einem weiteren Metallring oder einer weiteren Metallfläche, so wird wiederum ein Ladungssignal bzw. im zeitlichen Verlauf ein Stromsignal meßbar, das sich ebenfalls durch ein statistisches Rauschen auszeichnet. Das Stromrauschen ist in beiden Fällen in seiner zeitlichen Abfolge ähnlich, wobei jedoch ein Zeitversatz  $\Delta t$  auftritt, der linear von der Schüttgutgeschwindigkeit abhängt. Weitere Einzelheiten des an sich bekannten Influenzprinzips zur Bestimmung von Partikelgeschwindigkeiten werden in der Publikation von K. Dybeck et al. in „Conference Record Of 29<sup>th</sup> Annual Meeting“, IEEE Industry Application Society, Atlanta 1994, beschrieben.

In Figur 2 ist die Abnahme der Ladungssignale (Signal A1, Signal A2) von den Ringelektroden 21a bzw. 21b illustriert. Die Signale A1, A2 werden an den Korrelator 31 gegeben. Der Korrelator 31 bildet die Kreuzkorrelationsfunktion aus den Signalen A1 und A2 und ermittelt aus dieser den Zeitversatz  $\Delta t$ . Der Zeitversatz entspricht der Lage des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion. Dies ist im einzelnen weiter in Figur 3 illustriert, die im oberen Teil die Ausgangssignale A1 und A2 von den Ringelektroden 21a, 21b und im unteren Teil die Kreuzkorrelationsfunktion KKF illustriert. Aus dem bekannten Abstand  $l$  der Ringelektroden 21a, 21b und dem Zeitversatz wird die gesuchte Schüttgutgeschwindigkeit  $v$  gemäß

$$v = l/\Delta t$$

ermittelt. Der Abstand  $l$  zwischen den Ringelektroden 21a, 21b beträgt beispielsweise 30 mm.

Der Korrelator 31 enthält vorzugsweise einen digitalen Signalprozessor, dessen Eingangsgrößen durch Abtasten der analogen Signale A1, A2 geliefert werden. Die Abtastrate wird anwendungsabhängig unter Berücksichtigung einer Mini-

mierung des Fehlers bei der Korrelationsanalyse gewählt. Zur Ermittlung der Kreuzkorrelationsfunktion werden entsprechend den Signalen A1, A2 zwei Datenfolgen mit einer bestimmten Anzahl N von Meßpunkten aufgenommen, die Datenfolgen unter Anwendung einer N-Punkte-FFT in den Frequenzbereich transformiert und einer Faltung unterzogen. Das Faltungsergebnis wird mit einer inversen N-Punkte-FFT in den Zeitbereich rücktransformiert, woraus sich das in Figur 3 (untere Kurve) dargestellte Ergebnis ergibt. Die Geschwindigkeit v wird an die Rechenvorrichtung 32 gegeben.

Der Signalweg zur Ermittlung des Geschwindigkeits-Parameters verläuft somit von den Influenzelektroden 21a, 21b zur Ermittlung der Ladungssignale über einen Vorverstärker (nicht dargestellt) und einen programmierbaren Verstärker zur automatischen Signalanpassung (ebenfalls nicht dargestellt) zum Korrelator 31, der den digitalen Signalprozessor enthält, die Kreuzkorrelationsfunktion und daraus die Geschwindigkeit berechnet. Der programmierbare Verstärker dient der Signalhöhenoptimierung der Ladungssignale bei sich ändernden Produkteigenschaften oder Massedurchsätzen.

Der Zeitversatz kann alternativ auch mit anderen Signalanalyseverfahren, wie z. B. einer Muster- oder Bildauswertung oder Iterationsverfahren, ermittelt werden.

Das Signal für den Masseparameter (Signal B) verläuft direkt von der Wägezelle 11 (siehe Figur 1) der Wägerutsche 3 über einen Wägeverstärker 14 zur Rechenvorrichtung 32.

In der Rechenvorrichtung 32 wird die Durchflußmenge  $dm/dt$  aus der Geschwindigkeit und der pro Längeneinheit der Wägerutsche 3 gemessenen Masse M wie folgt berechnet:

$$dm/dt \text{ [kg/h]} = v \text{ [m/sec]} \cdot M \text{ [kg/m]} \cdot 3600$$

Die Rechenvorrichtung 32 ergibt somit ohne zusätzliche Kalibrationsschritte unmittelbar die Durchflußmenge. Die jeweils berechnete quantitative Größe für  $dm/dt$  kann einer weiteren Auswertung, einer Anzeige oder einer Systemsteuerung als Eingangsgröße z.B. für einen Förderer zugeführt werden.

Figur 4 illustriert verschiedene Ausführungsformen der Elektrodenpositionierung an der Wägerutsche 3. Die Ringelektroden 21a, 21b, die ersatzweise auch nicht-umlaufende Elektrodenstücke nahe des in Betriebsposition unteren Teils der Wägerutsche sein können, bilden jeweils ein Influenzelektrodenpaar 21, das parallel zur Schüttgutbewegung um die Wägerutsche verlaufend befestigt oder in die Wand der Wägerutsche eingebettet. Im ersteren Fall muß die Wägerutsche aus einem elektrisch isolierenden Material bestehen. Beim Einkleben oder Einbetten der Influenzelektroden in die Wägerutsche ist dies nicht erforderlich. Vorzugsweise wird ein segmentierter Aufbau gewählt, bei dem sich Rutschen- und Elektrodensegmente abwechseln.

Im Unterschied zu Figur 1 zeigt Figur 4 die Wägerutsche 3 zwischen dem Einlauf 2a und dem Auslauf 2b der im übrigen nicht gezeigten Transportleitung. Im obersten Teilbild ist das Influenzelektrodenpaar 21 in axialer Richtung mittig an der Wägerutsche 3 angebracht. Bei der abgewandelten Ausführungsform entsprechend dem mittleren Bild in Figur 4 sind zwei Influenzelektrodenpaare 21, 22 am Anfang bzw. Ende der Wägerutsche 3 vorgesehen. Diese Ausführungsform besitzt den Vorteil, daß die Geschwindigkeit des Schüttguts mit erhöhter Genauigkeit ermittelt werden kann. Da die Geschwindigkeit des Schüttguts während des Fließens über Wägerutsche 3 unter Wirkung der Gravitationskraft noch steigt, können mit den zwei Influenzelektrodenpaaren 21, 22 zwei Geschwindigkeitswerte und aus diesen ein mittlerer Geschwindigkeits-

wert ermittelt werden. Zur Aufnahme von Geschwindigkeitsprofilen entlang der Wägerutsche und/oder zur Verbesserung der Geschwindigkeitsmessung können auch noch mehr Influenzelektrodenpaare vorgesehen sein.

Im untersten Teil von Figur 4 ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung illustriert, bei der zwei Influenzelektrodenpaare 21, 22 am Ende des Einlaufs 2a bzw. am Anfang des Auslaufs 2b angeordnet sind. Aus den Abständen der Influenzelektrodenpaare 21 bzw. 22 von der Wägerutsche 3 kann unter Annahme eines vorbestimmten Geschwindigkeitsprofils des Schüttguts die Geschwindigkeit in der Wägerutsche ermittelt werden. Das Geschwindigkeitsprofil ist beispielsweise ein lineares Profil, d.h. die Geschwindigkeit des Schüttguts nimmt in Transportrichtung linear zu. Das Geschwindigkeitsprofil kann aber auch komplizierter oder einfacher sein. Je nach Material, Steilheit und Länge der Förderstrecke können ein Abbremsen oder bei Gleichgewicht aus Reibung und Gravitation eine konstante Geschwindigkeit des Schüttguts auftreten.

Die Ausführungsform gemäß Fig. 4 (unten) besitzt Vorteile in Bezug auf den vereinfachten mechanischen Aufbau der Wägerutsche und die Vermeidung einer Verdrahtung an dieser. Allerdings muß bei dieser Gestaltung ein Auslauf vorgesehen sein.

Gemäß einer weiteren, nicht dargestellten Ausführungsform könnte auch ein einziges Influenzelektrodenpaar außerhalb der Wägerutsche vorgesehen sein, das unter Berücksichtigung des Abstandes von der Wägerutsche und des angenommenen Geschwindigkeitsprofils oder einer auf der Förderstrecke ausgebildeten Konstantgeschwindigkeit wiederum einen Geschwindigkeitswert für das Schüttgut in der Wägerutsche ergibt.

Diese Ausführungsform ist jedoch durch eine geringere Genauigkeit gekennzeichnet.

Es wird betont, daß auch die Ausführungsformen der Erfindung mit Influenzelektrodenpaaren außerhalb der Wägerutsche die simultane Geschwindigkeits- und Massemessung für identisches Schüttgutmaterial erlauben. Die Interpolation auf der Grundlage von Geschwindigkeitsprofilen ist bei fließfähigem Schüttgut genügend genau, um von den Geschwindigkeitswerten außerhalb der Wägerutsche auf die Geschwindigkeit auf der Wägerutsche Rückschlüsse ziehen zu können.

Eine in der Praxis realisierte Meßeinrichtung zur Messung an Kunststoffgranulat mit einer mittleren Korngröße von 2 mm und einem Durchsatz von rd. 0.5 bis 2 t/h besitzt z. B. die folgenden Eigenschaften. Der Aufbau entspricht der Gestaltung von Fig. 4 (oben). Die Wägerutsche besitzt eine Länge von 200 mm und eine Neigung gegenüber der Horizontalen von 30°. Der Rohrdurchmesser beträgt 50 mm. Das Granulat besitzt eine typische Geschwindigkeit von rd. 0.8 m/s. Bei maximalem Durchsatz beträgt die Masse M auf der Wägerutsche rd. 140 g / 200 mm.

Die Figuren 5 und 6 illustrieren verschiedene Gestaltungen der Anordnung der Wägerutsche 3 in Bezug auf die Transportleitung 2 bzw. des Profils der Transportleitung 2 und der Wägerutsche 3. Die erfindungsgemäße Wägerutsche 3 kann in die Transportleitung 2 integriert sein (Figur 5, oberer Teil) oder am Ende der Transportleitung 2 vorgesehen sein. In jedem Fall ist das Querschnittsprofil der Wägerutsche genau an das Querschnittsprofil der Transportleitung angepaßt, wobei jedoch die Wägerutsche 3 berührungslos angeordnet ist. Ein Spalt zwischen der Wägerutsche 3 und den jeweils benachbarten Teilen der Transportleitung 2 besitzt meist eine charakteristische Dimension, die geringer ist



als die typische Teilchengröße des fließenden Schüttguts. Beispielsweise besitzt der Spalt bei Granulatschüttgut mit einer Teilchengröße im Bereich von 2 mm eine Breite von 1 mm. Bei großen Durchsätzen tritt im Schüttgutstrom eine Kraftwirkung wie ein Sog auf, die insbesondere bei der Förderung von Pulvern verhindert, daß sich der Spalt zusetzt. Die Spaltbreite kann somit auch größer als die geförderten Teilchen sein.

Die Transportleitung und die Wägerutsche besitzen einen geschlossenen oder einen nach oben offenen Querschnitt, wie dies in Figur 6 illustriert ist. Eine bevorzugte geschlossene Querschnittsform ist die des Kreises. Als offene Querschnittsformen können beispielsweise ein Rohrsegment oder eine Rechteckform gebildet werden. Weitere Abwandlungen sind möglich, wobei eine Querschnittsform derart bevorzugt wird, daß in einem in Betriebsposition unteren Scheitel der Förderstrecke das Schüttgut konzentriert wird. Die Querschnittsform kann auch dreieckig oder durch Kombination der genannten Formen gebildet sein.

Die Wägerutsche 3 kann hängend oder von unten gestützt angeordnet sein, wobei die hängende Anordnung bevorzugt wird, da die Wägezelle 11 (siehe Figur 1) vor gegebenenfalls aus tretendem Schüttgut geschützt wird und den ausgetretenen Schüttgutstrom nicht behindert und ferner kurze, störungsarme Kabelwege zur Signalübertragung ermöglicht werden.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erfassen der Durchflußmenge fließfähigen Schüttguts (1) durch eine Transportleitung (2), bei dem eine Geschwindigkeitsmessung und eine Massemessung vorgesehen sind, wobei die Massemessung gravimetrisch mit einer Wägerutsche (3) erfolgt,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Geschwindigkeitsmessung simultan zur Massemessung für jeweils auf der Wägerutsche befindliches Schüttgut unter

22) erfolgt, und

die Durchflußmenge kalibrationsfrei direkt aus der Geschwindigkeit und der Masse des auf der Wägerutsche (3) fließenden Schüttguts (1) ermittelt wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Massemessung mit einer hängenden oder aufliegenden Wägerutsche (3) erfolgt.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem mehrere Influenzelektrodenpaare (21, 22) vorgesehen sind und mit diesen mehrere Geschwindigkeitsmessungen erfolgen und die Geschwindigkeit des Schüttguts (1) der Wägerutsche (3) aus den Geschwindigkeitsmessungen abgeleitet wird.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Schüttgut partikelförmige Feststoffe mit typischen Teilchengrößen im Bereich von 1 µm bis 1000 mm umfaßt.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Durchflußmenge ( $dm/dt$ ) aus der gemessenen Masse ( $M$ ) und der gemessenen Geschwindigkeit ( $v$ ) gemäß  $dm/dt = v \cdot M$  ermittelt wird.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem zur Geschwindigkeitsmessung eine Korrelationsanalyse der Ladungssignale der Influenzelektroden jedes Influenzelektrodenpaares (21, 22) erfolgt.

7. Einrichtung (100) zum Erfassen der Durchflußmenge fließfähigen Schüttguts (1) durch eine Transportleitung (2), die umfaßt:

- eine Massemeßvorrichtung (10), die zur Wägung des auf einer Wägerutsche (3) befindlichen Schüttguts (1) ausgelegt ist,

eine Geschwindigkeitsmeßvorrichtung (20), die

- eine Auswertungsvorrichtung (30),

**dadurch gekennzeichnet, daß**

die Geschwindigkeitsmeßvorrichtung (20) mindestens ein Influenzelektrodenpaar (21, 22) umfaßt, das zur Bereitstellung von Ladungssignalen (A1, A2) ausgelegt ist, deren relativer zeitlicher Verlauf charakteristisch für die Geschwindigkeit des Schüttguts (1) in der Wägerutsche (3) ist, und

die Auswertungsvorrichtung (30) mit der Massemeßvorrichtung (10) und Geschwindigkeitsmeßvorrichtung (20) verbunden und dazu ausgelegt ist, aus den von den Masse- und Geschwindigkeitsmeßvorrichtungen (10, 20) gelieferten Meßwerten direkt die Durchflußmenge des Schüttguts (1) zu ermitteln.

8. Einrichtung gemäß Anspruch 7, bei der die Wägerutsche (3) hängend oder aufliegend angeordnet ist.

9. Einrichtung gemäß Anspruch 7 oder 8, bei der die Wägerutsche (3) am Ende einer Transportleitung (2) oder in einer Lücke zwischen zwei Transportleitungsabschnitten (2a, 2b) angeordnet ist.

10. Einrichtung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, bei der das mindestens eine Influenzelektrodenpaar (21, 22) an der Wägerutsche (3), auf deren Außenseite oder in deren Wand integriert, angebracht ist.

11. Einrichtung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 10, bei der jedes Influenzelektrodenpaar (21, 22) aus zwei Ringelektroden besteht, die radial um die Wägerutsche (3) verlaufen.

12. Einrichtung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 10, bei der jedes Influenzelektrodenpaar (21, 22) Elektrodenstücke umfaßt, die im Bodenbereich der Wägerutsche (3) angeordnet

13. Einrichtung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, bei der mindestens ein Influenzelektrodenpaar (21, 22) an der Transportleitung (2) angebracht ist.

14. Einrichtung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 13, bei der die Massenmeßvorrichtung (10) eine Wägezelle (11) und einen Dehnungsmeßstreifen (12) enthält, wobei die Wägezelle (11) mit dem Dehnungsmeßstreifen (12) an einem Ende mittels eines Balkens (13) an der Wägerutsche (3) und am anderen Ende ortsfest an einem Gehäuse (4) befestigt ist.

15. Wägerutsche zur gravimetrischen Wägung von fließendem Schüttgut (1), die mit einer Massenmeßvorrichtung (10) und einer Geschwindigkeitsmeßvorrichtung (20) versehen ist, **dadurch gekennzeichnet, daß**

die Geschwindigkeitsmeßvorrichtung (20) mindestens ein Influenzelektrodenpaar (21, 22) zur Erfassung der Geschwindigkeit des Schüttguts auf der Wägerutsche (3) umfaßt.

16. Wägerutsche gemäß Anspruch 15, bei der ein Influenzelektrodenpaar (21) in axialer Richtung in der Mitte der

Wägerutsche (3) angebracht ist.

17. Wägerutsche gemäß Anspruch 15, bei der zwei Influenzelektrodenpaare (21, 22) an den Enden der Wägerutsche (3) angebracht sind (3).

18. Wägerutsche gemäß einem der Ansprüche 15 bis 17, bei der die Influenzelektrodenpaare auf der äußeren Wand der Wägerutsche (3) aufgebracht oder in die Wand der Wägerutsche (3) integriert sind.

19. Wägerutsche gemäß Anspruch 18, die einen segmentartigen

20. Verwendung eines Verfahrens, einer Einrichtung oder einer Wägerutsche gemäß einem der vorliegenden Ansprüche zum Erfassen der Durchflußmenge fließfähiger Schüttgüter.

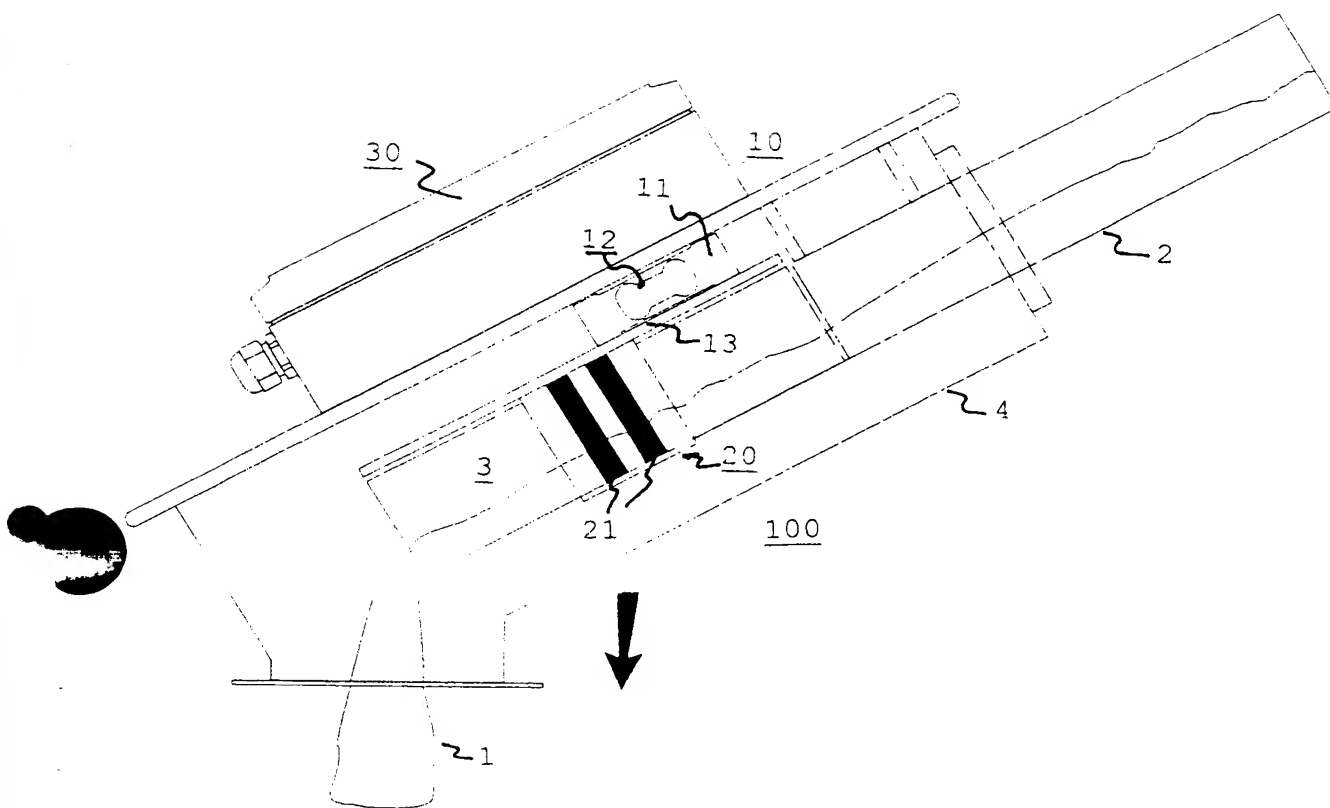


Fig. 1

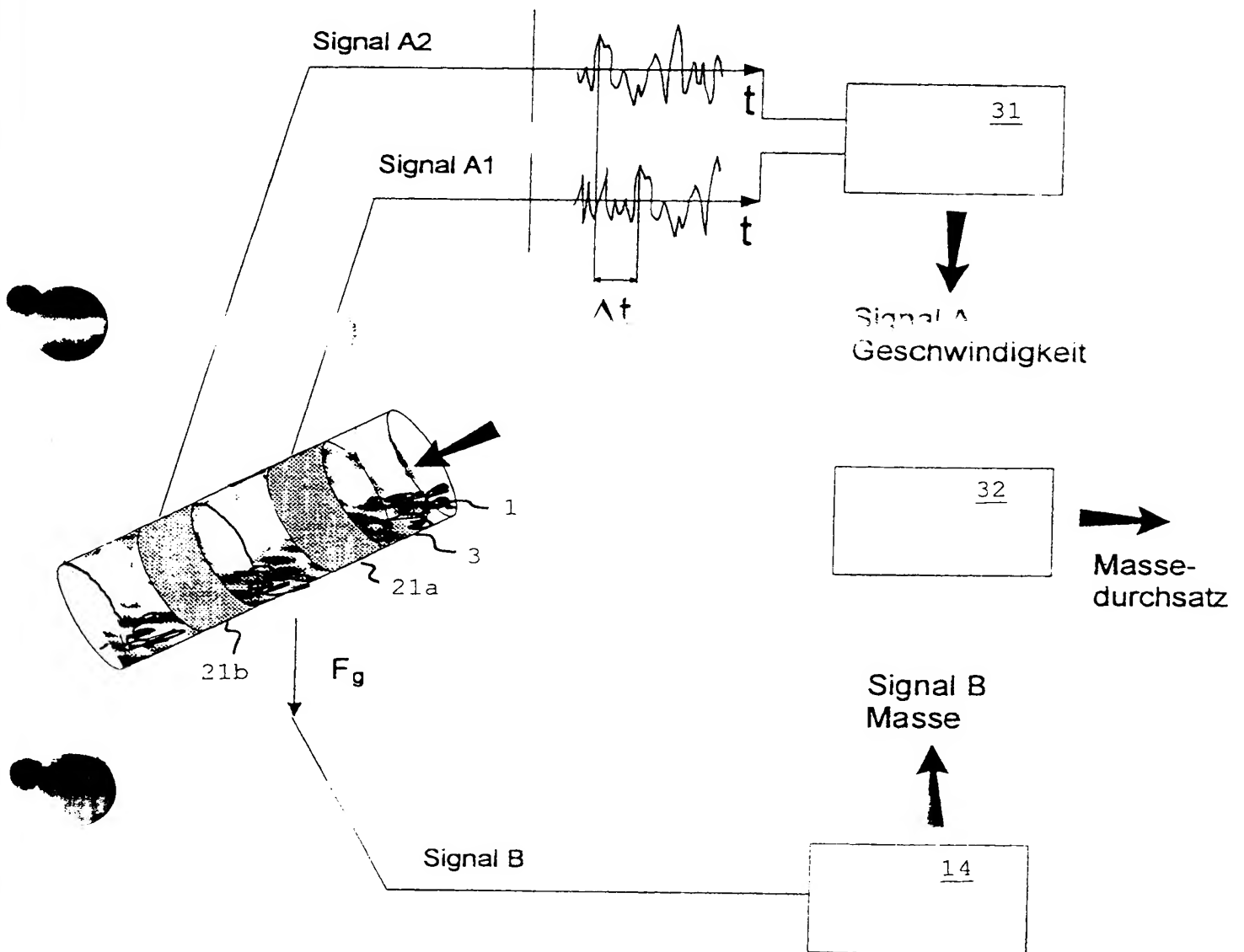


Fig. 2

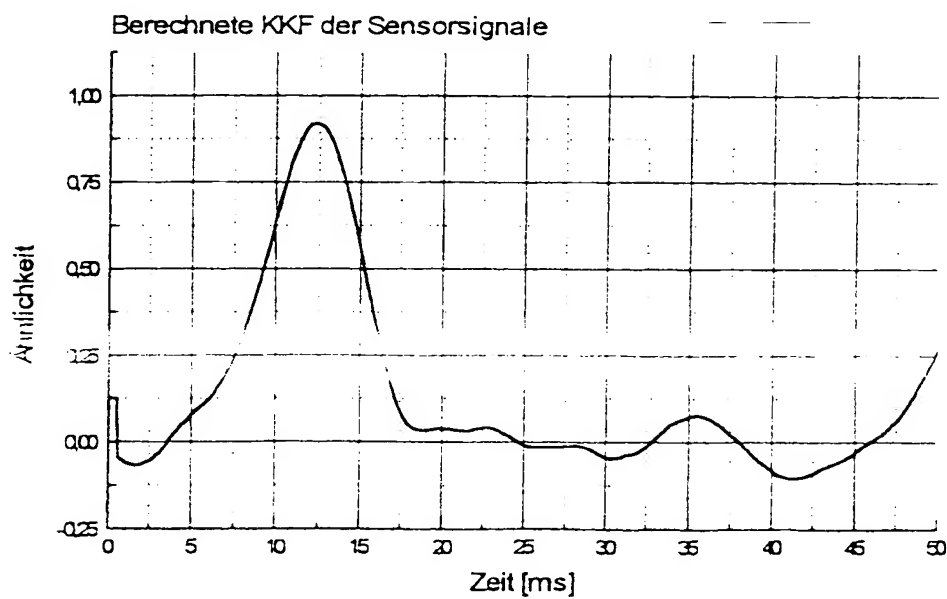
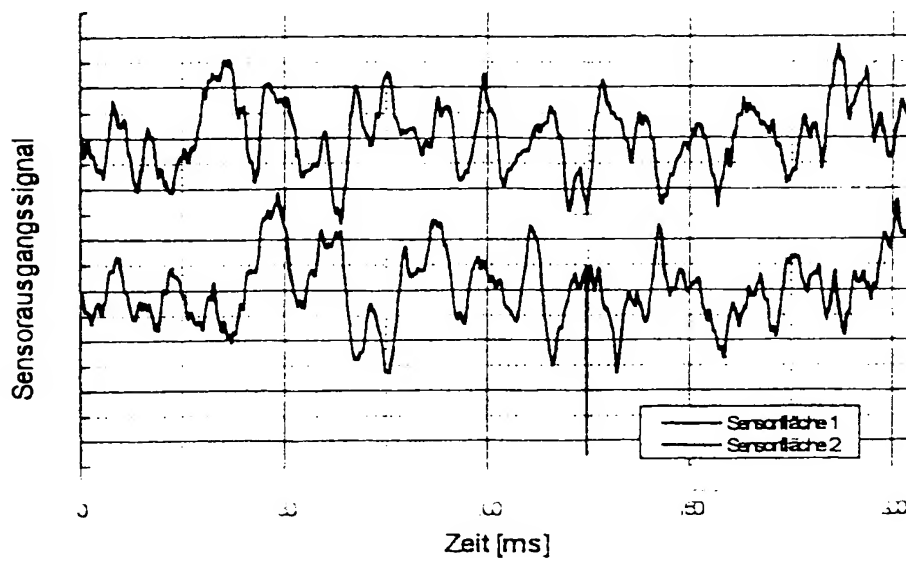


Fig. 3



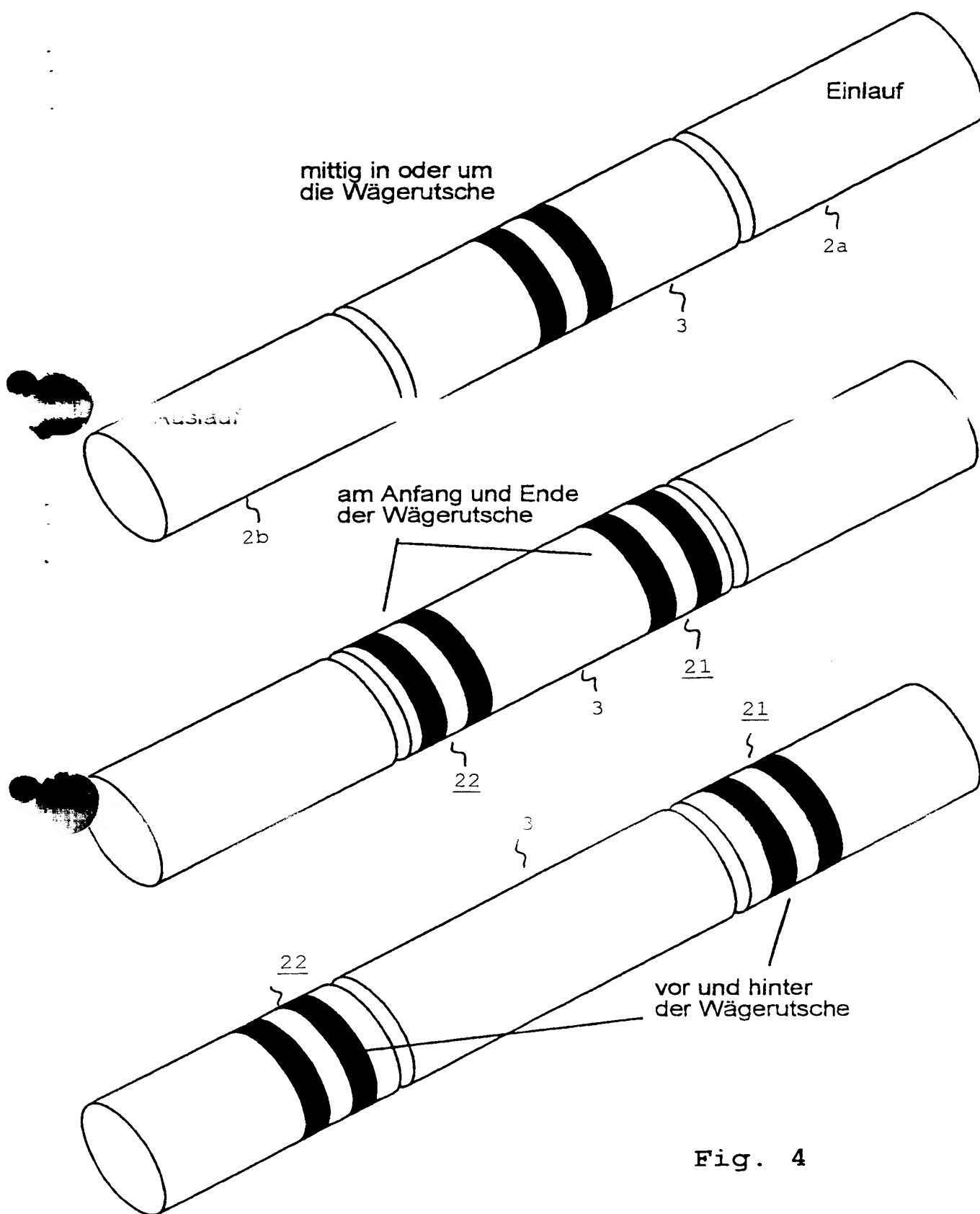


Fig. 4

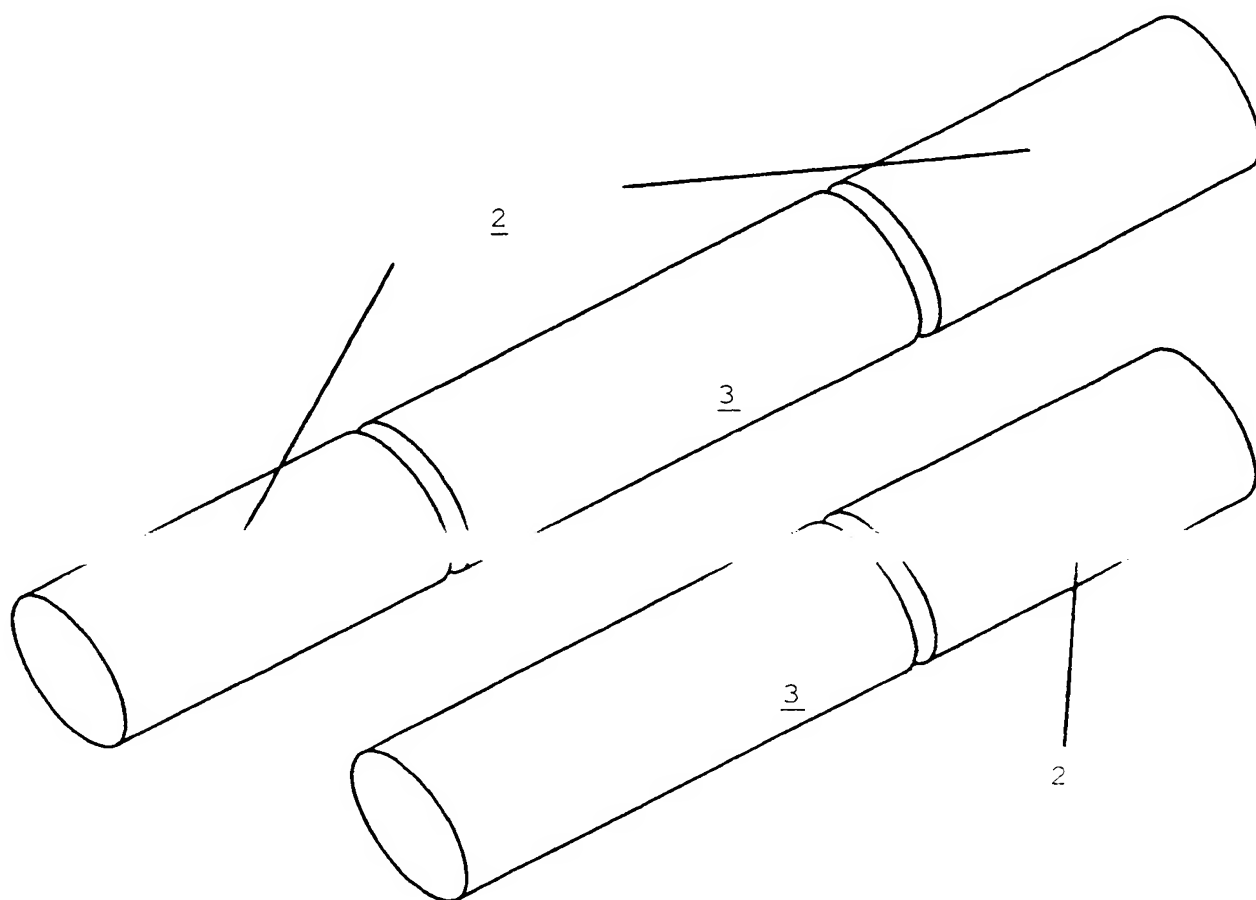
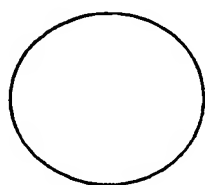


Fig. 5



Rohr



Rohrsegment



Rechteck

Fig. 6